

ARQUEOLOGÍA GALÁCTICA

LA RELEVANCIA DEL CAOS EN LA VÍA LÁCTEA

La arqueología galáctica busca comprender los mecanismos relevantes en la formación de las galaxias, como el caos, a partir de señales que preservan en ellas el impacto de estos procesos.

Nicolás Maffione

Así como los arqueólogos buscan comprender las civilizaciones antiguas analizando los restos materiales de sus culturas, la arqueología galáctica busca develar y comprender los mecanismos relevantes en el ensamblaje de las galaxias, a través del estudio de eventos pasados de acreción, impresos tanto en el movimiento de las estrellas como en su distribución espacial y composición química.

El modelo

Empecemos por entender a qué nos referimos con ensamblaje de las galaxias. Primero, ¿quién dijo que las galaxias son producto de un ensamblaje? Y de ser así, ¿cuáles son los fragmentos a partir de los cuales se construyen? Para responder estas preguntas deberemos introducir un marco teórico: el Modelo Cosmológico Estándar. Partiendo del ya famoso Big Bang (o Gran Explosión en inglés), el modelo explica y conecta, de manera razonablemente simple, diferentes observaciones clave: el fondo cósmico de microondas, la estructura filamentosa de la distribución a gran escala de las galaxias (ver Figura 1) y la expansión acelerada del universo.

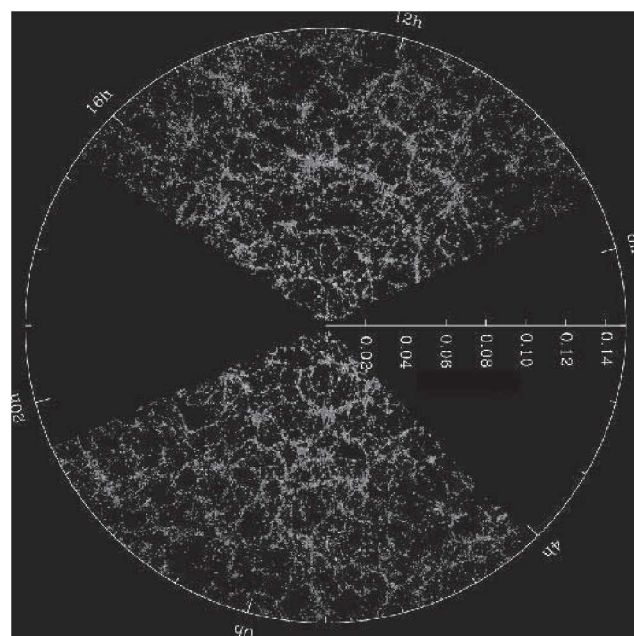


Imagen: Sloan Digital Sky Survey.

Figura 1. Estructura filamentosa de la distribución a gran escala de las galaxias. Cada punto es una galaxia.

Dentro de dicho marco incluiremos al modelo Λ -CDM (donde Λ es la letra griega lambda mayúscula, CDM por las siglas en inglés de Materia Oscura Fría), el cual establece un escenario de crecimiento jerárquico de las galaxias. En otras palabras, el modelo deduce que las galaxias debieran haber crecido en masa (cantidad de materia), principalmente, al incorporar bloques más pequeños. Y es en este sentido que hablamos de ensamblaje de las galaxias. Evidencias reafirmantes del modelo se conseguirían al observar estos bloques allí afuera en el cielo o, al menos, señales de su existencia, lo que nos lleva a qué entendemos por eventos pasados de acreción.

Palabras clave: arqueología galáctica, modelo Λ -CDM, caos, difusión caótica

Nicolás Maffione

Dr. en Astronomía

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas,
Universidad Nacional de La Plata (UNLP) -
Instituto de Astrofísica La Plata (IALP, UNLP/
CONICET), Argentina.

nmaffione@fcaglp.unlp.edu.ar

Recibido: 26/08/15

Aceptado: 11/11/15



Imagen: Mark Gee

Figura 2. La Vía Láctea y la Gran y Pequeña Nube de Magallanes (a la izquierda de la imagen).

Productos de un universo jerárquico

Si galaxias como nuestra Vía Láctea se construyeron a partir de estos bloques (otras galaxias en cambio, habrían alcanzado su forma actual fundamentalmente a través de colisiones galácticas), algunas preguntas se desprenden inmediatamente: ¿qué son estos bloques? y ¿dónde están?, ¿acaso se los puede observar? La respuesta a esta última pregunta es un rotundo sí, pero comencemos respondiendo las primeras dos. Estos bloques son muchas veces galaxias más pequeñas que la nuestra. Se las observa en las vecindades de galaxias que llamaremos hospedadoras, porque a las pequeñas se las encuentra orbitando a estas últimas, bajo la misma ley física que hace que la Luna (nuestro satélite natural) orbite alrededor de la Tierra. Análogamente, a estas galaxias más pequeñas se las llama galaxias satélite. Para evitar hablar de números, que por lo inimaginablemente grandes muchas veces nos hacen perder el foco de la discusión en astronomía, hablemos de proporciones con un ejemplo: la Gran Nube de Magallanes es una galaxia satélite de la Vía Láctea. Más aún, es considerada un satélite bastante grande (masivo) y hoy en día, sin embargo, se estima que es unas cien veces menos masiva y con un diámetro diez veces menor que la Vía Láctea (ver Figura 2).

El escenario de crecimiento jerárquico predice que las galaxias más grandes habrían asimilado con relativa facilidad estructuras más pequeñas y cercanas, por ejemplo, a sus galaxias satélites. Pero ¿hay evidencia

que sustente esto? Sí. Cuando una galaxia satélite es incorporada por la galaxia hospedadora, un fenómeno que podemos catalogar como un evento pasado de acreción, el proceso deja huella por determinado tiempo. A estas huellas se las puede identificar como corrientes estelares (o grupos coherentes de estrellas) diseminadas por diferentes regiones de la galaxia hospedadora. En los últimos años se ha observado un crecimiento dramático en la detección de estas corrientes en la Vía Láctea, gracias a la eficacia de diferentes censos del cielo como el Sloan Digital Sky Survey. Entre los ejemplos más espectaculares se cuentan las corrientes estelares que está dejando el proceso de acreción y ruptura de la galaxia satélite de Sagitario, a partir de su interacción gravitatoria con nuestra Vía Láctea, o las asociadas con el cúmulo globular Palomar 5 (ver Figura 3), también debidas a la contienda gravitatoria que sostiene el cúmulo con nuestra galaxia.

Volvamos un poco para atrás, dijimos que la arqueología galáctica busca develar y comprender los mecanismos relevantes en el ensamblaje de las galaxias, a través del estudio de eventos pasados de acreción, impresos tanto en el movimiento de las estrellas como en su distribución espacial y composición química. Ya sabemos a qué nos referimos con ensamblaje de galaxias y con eventos pasados de acreción. Lo que nos falta es puntualizar qué entendemos por distribución espacial y composición química de las estrellas.

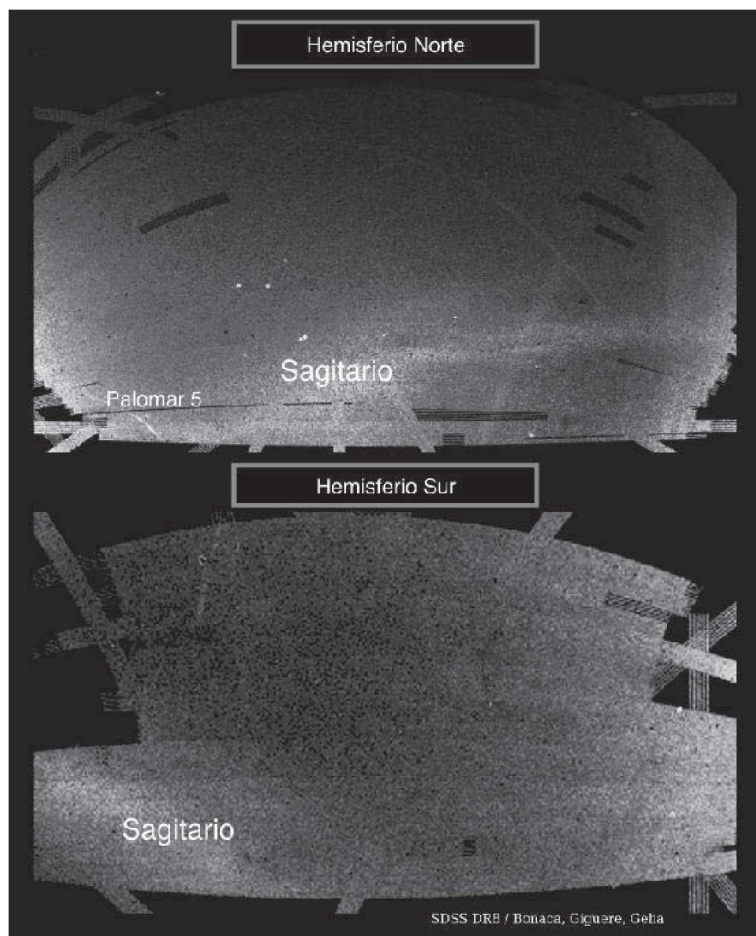


Figura 3. Ejemplos de corrientes estelares: destacamos las correspondientes a Palomar 5, en el hemisferio norte (la corriente se observa en la imagen como una pequeña línea diagonal en la parte inferior izquierda del cuadro de arriba) y a las de la galaxia satélite de Sagitario, en ambos hemisferios.

Imagen original: A. Bonaca, M. Geha y N. Kallivayalil (Sloan Digital Sky Survey). Imagen levemente modificada.

Las corrientes estelares que fueron dejando los eventos de acreción se entienden coherentes porque sus estrellas comparten ciertas características que permiten asociarlas de alguna forma. La manera más sencilla de asociarlas es si comparten una posición similar en el cielo (o distribución espacial, ver Figura 3). Otras veces, las estrellas no tienen posiciones similares en el cielo, pero se mueven de forma muy parecida. En este caso también se las puede identificar como corrientes estelares coherentes, pero ya no mirando su posición en el cielo, sino agrupándolas por su movimiento. Por último, podemos encontrar estrellas que posean similar composición química (por ejemplo porque nacieron en un mismo medio ambiente y se formaron con cantidades parecidas de elementos químicos), por lo que también se las observará como corrientes estelares coherentes, pero en este caso se las clasifica utilizando herramientas de análisis que nos permitan inferir su composición. Es decir, tenemos diferentes formas de identificar a estas corrientes estelares por su coherencia. Ahora bien, si un mismo conjunto de estrellas mantiene su coherencia no sólo al agruparlas por su posición en el cielo, sino también por su movimiento y composición química, probablemente se hayan movido juntas por mucho tiempo, quizás incluso desde el lugar donde nacieron. Esta característica hace de estas estrellas excelentes trazadores de even-

tos de acreción si es que brillaron por primera vez, por ejemplo, en galaxias satélites ya asimiladas. Estas corrientes coherentes de estrellas son el objeto de estudio de la arqueología galáctica, dado que nos permiten identificar parte de la componente estelar vinculada con los satélites que fueron incorporados a la galaxia hospedadora o, en nuestro caso, a la Vía Láctea. Luego, bajo determinadas condiciones, podríamos volver la película hacia atrás para reconstruir el proceso de ensamblaje que erigió nuestra galaxia y, consecuentemente, descubrir su historia de formación.

Estos procesos de acreción pueden durar miles de millones de años, por lo que no podemos quedarnos sentados para observar uno en vivo y en directo. Dicho de otra manera, muchas veces en astronomía tenemos sólo instantáneas de un proceso y son la imaginación (generalmente primero) y la ciencia (después) que construyen la película que tenga por uno de sus cuadros a alguna de esas instantáneas. Entonces, ¿acaso nos referimos a que rebobinaremos al universo con eso de “volver la película hacia atrás”? Claro que no. Lo que haremos será construir nuestros propios universos mediante modelos físicos, recién ahí podremos manejar el tiempo a voluntad y analizar la evolución de todas las galaxias que se formaron en ellos.

Figura 4. Vista del sistema A generado con ultra definición en las re-simulaciones del Proyecto Aquarius.



Imagen: Volker Springel (Max-Planck-Institut für Astrophysik).

Simulaciones cosmológicas

Modelar el universo no es una tarea sencilla, como el lector podrá intuir fácilmente, incluso cuando se incorporan sólo algunos (aunque importantes) procesos físicos en la construcción de los prototipos. Más aún, para seguir tanto la formación como la posterior evolución de las galaxias en estos pequeños universos sintéticos, no sólo se deben resolver simultáneamente complejas ecuaciones matemáticas, sino que además se las debe resolver una cantidad fabulosa de veces. Luego, esta tarea se les deja a las computadoras. No obstante, estas simulaciones son tan exigentes que para llevarse a cabo deben paralelizarse en arreglos de muchísimos procesadores, llamados supercomputadoras. En resumen, las simulaciones cosmológicas pretenden incluir la mayor cantidad de procesos físicos relevantes en la formación de las galaxias y seguir su evolución dentro de volúmenes representativos para generar las estructuras y subestructuras que se observan en el universo de forma autoconsistente. Un ejemplo ya clásico es la simulación conocida como la Millennium Run, donde se siguió la evolución de más de diez millones de galaxias.

Para tener una idea de lo exigente de las simulaciones utilizadas en este ámbito hablemos con algunos números en la mano. Dentro del marco de lo que se conoce como proyecto Aquarius, se estudiaron seis

sistemas diferentes. Estas seis simulaciones no son cosmológicas, sino que son re-simulaciones, a mucha mayor resolución, de sistemas identificados dentro de la simulación cosmológica Millennium, representativos de la Vía Láctea. Cabe aclarar que las simulaciones Aquarius, como la Millennium, consideran únicamente materia oscura, recién en un segundo paso se les acoplan otros códigos y prescripciones para obtener de ellas la materia “visible” como las estrellas. Cada una de las seis simulaciones Aquarius se hizo con diferentes resoluciones. En la resolución más alta se utilizaron entre 160 y 224 millones de partículas que interactúan entre sí dentro de cierta distancia característica del sistema (aquí, el término partícula indica una porción muy pequeña de la materia oscura). Una de las simulaciones se hizo, además, con ultra definición, alcanzando las 1.470 millones de partículas (ver Figura 4). Esta última se ejecutó en la supercomputadora Altix 4700 en Leibniz, Alemania, que utilizó 1.024 procesadores, que en conjunto consumieron más de 3,5 millones de horas en completar todos los cálculos.

A través de las simulaciones que utilizan al modelo Λ -CDM para la creación (y evolución) de las galaxias, se detectaron inconsistencias entre lo que predice la teoría y lo que interpretamos de las observaciones, como la sobre abundancia de halos de materia oscura muy masivos (advertidos en las simulaciones pero sin

Imagen: ESA/ATG medialab; fondo: ESO/S. Brunier.



Figura 5. Satélite Gaia de la Agencia Espacial Europea (ESA por European Space Agency).

contraparte dentro de lo que se infiere de las observaciones). ¿Con esto queremos decir que el modelo no sirve? No, en absoluto, tiene muchos aciertos como para abandonarlo tan rápidamente. Entonces el proceso sigue y se buscan explicaciones para subsanar tales inconsistencias, que se esperan sean sólo aparentes (como posiblemente sea nuestro caso, donde muchas de las fragilidades parecen aliviarse al hacer más realistas nuestras prescripciones dentro del modelo). A veces se logra; cuando no, puede plantearse un serio problema a la teoría, la que habrá que modificar o abandonar. Es este análisis continuo el que resume el núcleo del desarrollo científico.

Un ejemplo de esto lo da otra predicción del modelo, sustentada con simulaciones de alta resolución como las brindadas por el proyecto Aquarius, y es la que a nosotros más nos atañe en este artículo. En las simulaciones se percibe una gran cantidad de corrientes estelares coherentes en regiones análogas a lo que sería la vecindad solar, predicción que de ser cierta proveería de muchísima información para reconstruir la historia de la formación de nuestra galaxia. Sin embargo, al día de hoy, no se identifica en el cielo la cantidad que predicen las simulaciones. El problema, entonces, ¿es definitivamente del modelo?, ¿de las simulaciones?, ¿de la precisión en las observaciones?, ¿o simplemente sucede que no estamos considerando

algún ingrediente en la interpretación de los resultados? Posiblemente todo lo anterior contribuya de alguna manera, pero hoy en día uno de estos puntos parece ser el problema básico: no contamos con una muestra suficientemente grande de estrellas para la detección sistemática de estas corrientes estelares en el cielo. De contar con esta muestra en algún futuro (esperamos no muy lejano), entraría en juego nuestro segundo concepto central en la discusión de los posibles resultados: el caos, que se ofrece en la literatura científica como ingrediente ignorado para justificar una probable falta de coincidencia entre simulaciones y futuras observaciones.

La relevancia del caos en la vecindad solar

Sabemos qué buscar y dónde hacerlo: corrientes estelares coherentes, y cuantas más maneras diferentes tengamos de identificar la misma corriente, más sólida nuestra identificación de coherencia. También sabemos qué nos pueden decir acerca de los mecanismos involucrados en la formación de nuestra galaxia (siempre dentro del marco teórico brindado por el modelo Λ -CDM). Por ejemplo, al rebobinar la película en nuestros universos sintéticos, sabremos a qué tipo de galaxia satélite pertenecieron estas corrientes estelares antes de ser asimiladas por la galaxia hospedadora. Sin embargo, las simulaciones de muy alta resolución

nos dicen que deberíamos detectar muchísimas más de estas corrientes estelares aquí en las cercanías de nuestra estrella, el Sol, de las que hemos reconocido en nuestros catálogos. Más allá del problema de la resolución en las observaciones, el caos es claramente capaz de provocar estas diferencias. Pero expliquemos primero qué es el caos.

Caótico es un comportamiento que tiene ciertas características, entre las cuales se destaca una alta sensibilidad a las condiciones iniciales. ¿Qué queremos decir con esto? Pues bien, sean dos partículas ubicadas una al lado de la otra (en este contexto, llamaremos partícula a la simplificación de cualquier objeto del cual no interesa ninguna otra propiedad aparte de su movimiento). Cuando estas partículas se mueven pueden ocurrir dos cosas. O bien se van a mover juntas por mucho tiempo debido a que la distancia que las separa se irá incrementando muy lentamente (a veces de forma casi imperceptible), o bien, a partir de algún momento, esa distancia mutua aumentará rápidamente provocando que las partículas, cercanas en un principio, se terminen separando significativamente. En el primer caso hablamos de movimiento regular, porque independientemente de a cuál partícula elijamos seguir, sabremos que la otra no andará muy lejos, incluso luego de mucho tiempo. El segundo caso es típico del movimiento caótico. Si seguimos a una de las partículas, luego de cierto tiempo podremos no saber nada sobre el paradero de su compañera.

¿Cuáles son las consecuencias de este movimiento caótico en la arqueología galáctica? Dijimos que si teníamos una corriente estelar coherente identificada tanto por las posiciones comunes de sus estrellas en el cielo como por sus movimientos y composiciones químicas similares sería fuerte candidata a dar información sólida sobre eventos pasados de acreción que permitirían, en principio, reconstruir cómo fue el ensamblaje de nuestra galaxia. Pero si las estrellas tuvieran movimientos caóticos, aunque fueran originarias de la misma galaxia satélite incorporada por la Vía Láctea, se habrían separado unas de otras al poco tiempo. Y, así dispersas, ya no serían una corriente coherente en el cielo, dado que ya no podríamos agrupar a sus estrellas dentro de una localización común. Es decir, perdimos cierta cualidad (la distribución espacial) que podría ayudarnos a agrupar a estas estrellas como miembros comunes de alguna estructura digerida con anterioridad por nuestra galaxia.

A no desesperar que, como dijimos, tenemos otras formas de reconocer a ese conjunto de estrellas como una corriente estelar coherente. Pero el caos, no conforme, ataca con algo más. Si el efecto del caos es tan fuerte que su impacto se observa en tiempos cortos (en nuestras escalas astronómicas pueden ser algunos miles de millones de años), es capaz de hacer desastres, dado que abre las puertas a un fenómeno denomina-

do difusión caótica. Y si hay difusión caótica hablaremos de un caos efectivo. Si el caos fuese efectivo, no sólo podría haber dispersado estrellas que provenían de una misma galaxia satélite, sino que también provocaría que sus movimientos fuesen muy distintos. De esta manera, estaría reduciendo significativamente las posibilidades de agrupar estas estrellas bajo características que tengan en común y, en consecuencia, que nos permitiesen encuadrarlas dentro de un conjunto coherente. Luego, al no poder vincularlas a partir de su dinámica, se vuelve muy difícil determinar si las estrellas proceden de un mismo progenitor galáctico. En estos casos, asociar estas estrellas a partir de su composición química resulta ser una de las últimas cartas por jugar. En resumen, si el caos fuese efectivo, no nos sería nada sencillo volver la película atrás a partir de las condiciones de hoy, porque no sabríamos cuál es la sucesión correcta de cuadros hacia el pasado. Se dice, entonces, que no hay memoria del proceso.

Y si no hay memoria del proceso, ¿cómo reconstruirlo? No se puede, salvo, como mencionamos, por lo que podamos inferir de las composiciones químicas. Sólo se puede conjeturar sobre lo que pudo haber pasado en función de todas las opciones que sean compatibles con nuestras hipótesis del problema. En un trabajo reciente, realizado con colaboradores de otros países, encontramos que, probablemente, el caos no sea efectivo en regiones de la vecindad solar. Si bien puede haber porcentajes nada despreciables de caos, los tiempos necesarios para tener un impacto irreversible a causa de él son extremadamente grandes (incluso mayores a la edad del universo, que es de un poco más de 13 mil millones de años). Esto último nos permite perseguir las corrientes estelares coherentes en estas regiones por toda la película hacia atrás, hasta encontrar a su progenitor. Claro, primero necesitamos identificar en las observaciones a estas corrientes estelares ya encontradas en las simulaciones.

La hora de la verdad: Gaia

Requerimos, entonces, de información muy precisa tanto de las posiciones así como de los movimientos y la metalicidad (composiciones químicas) de un gran número de estrellas de la Vía Láctea para, antes que nada, saber si hay información disponible allí afuera sobre la historia de formación de nuestra galaxia. De no haberla, el caos ya pudo haber jugado sus cartas y eran muy buenas. Caso contrario, el caos estuvo dormido y podremos reconstruir más fácilmente los eventos de acreción galáctica que tuvieron lugar a partir del análisis de los datos. Estas mediciones son las que viene a completar la misión europea Gaia (ver Figura 5), inicialmente proyectada para una duración de cinco años (el satélite se encuentra en operaciones desde finales de 2013). Gaia creará con sus mediciones un mapa tridimensional conteniendo alrededor de mil mi-

lones de estrellas de la Vía Láctea y galaxias cercanas. No sólo calculará movimientos de las estrellas, donde se encuentra codificada información sobre la evolución de nuestra galaxia (como ya vimos), sino que con sus detectores fotométricos de abordo proveerá mediciones de propiedades astrofísicas detalladas de cada estrella observada, por ejemplo: luminosidad, temperatura y composición química, las que codifican la historia de formación estelar y de enriquecimiento químico de la galaxia. Finalmente, sus mediciones serán complementadas con el censo espectroscópico Gaia-ESO, de unas 100 mil estrellas en la Vía Láctea.

Con la cantidad y calidad de las mediciones que se esperan de la misión, se estima un empuje extraordinario a los estudios sobre arqueología galáctica, inaugurando una era donde la información observacional será tal que permitirá contrastar muchísimas ideas que rondan en el área, descartando las que no se ajusten a los datos y consolidando las que sí lo hagan. Por lo pronto, esperamos que el Gaia nos ofrezca evidencias sólidas para confrontar las diferentes hipótesis que se manejan en arqueología galáctica, particularmente sobre la relevancia del caos en la historia de formación de la Vía Láctea.

Glosario

Materia oscura: modelos y observaciones cosmológicas indican que existe cierto tipo de “materia oscura”, que suma el 24 por ciento de la composición total del universo, que no emite ni refleja radiación electromagnética y sólo interactúa gravitatoriamente. Se cree que estaría compuesta por una o varias especies de partículas sub-atómicas bautizadas como WIMPs, por las siglas en inglés de partículas masivas débilmente interactuantes.

Halo de materia oscura: es una componente hipotética de las galaxias que contiene toda su materia visible. Esta componente domina la masa total de la galaxia, pero al estar compuesta por materia oscura no se la observa directamente, aunque se infiere su existencia por el movimiento de las estrellas y el gas que circunscribe.

Dinámica: rama de la mecánica que estudia el movimiento en sistemas físicos debido a la acción de fuerzas.

Fotometría: o medida de la luz. Técnica de medición del flujo de radiación electromagnética (brillo) que emite un objeto astronómico.

Espectroscopía: técnica de medición del espectro electromagnético a través de la interacción de la radiación con la materia, utilizada para derivar composiciones químicas, temperaturas, densidades, masas o distancias asociadas a distintos objetos astronómicos.

Para seguir aprendiendo

Para empezar, indiquemos los sitios web de dos instituciones donde se realizan este tipo de investigaciones: la primera corresponde a la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata, popularmente referida como Observatorio Astronómico de La Plata. En su página se da a conocer información sobre las carreras que allí se cursan, actividades de extensión y grupos de investigación. El segundo vínculo corresponde a una institución de carácter mixto, dado que no sólo depende de la Universidad Nacional de La Plata, sino que, además, depende del CONICET, el organismo de Ciencia y Técnica de la Nación. En el sitio web del Instituto de Astrofísica La Plata el lector podrá encontrar información dirigida exclusivamente a la investigación.

El Observatorio Astronómico de La Plata. En URL: www.fcaglp.unlp.edu.ar/
Instituto de Astrofísica La Plata. En URL: ialp.fcaglp.unlp.edu.ar/

Los que mencionamos a continuación son vínculos un poco más específicos sobre el artículo y se encuentran en inglés. Tanto el primero como el segundo de ellos tienen una sección “Educativa” que vale la pena mirar. En el primero podrá encontrar diferentes proyectos apuntados al público no versado en el área, como son los muy populares proyectos de “Ciencia ciudadana”, tales como el Galaxy Zoo. En este tipo de emprendimientos, gente no especializada puede hacer contribuciones científicas reales. Por otro lado, también encontrará información específica sobre el Sloan Digital Sky Survey. En el segundo de los enlaces, encontrará información actualizada sobre la misión del Gaia, el satélite de la ESA, además de películas e imágenes explicativas tanto de la misión como del propio satélite.

Sloan Digital Sky Survey. En URL: www.sdss.org/
Gaia. En URL: sci.esa.int/gaia/

Para concluir adjuntamos un par de sitios sobre simulaciones cosmológicas, también en idioma inglés. El primero de ellos corresponde al proyecto Aquarius incluido en el artículo, recomendando al interesado que saltee toda la primera sección donde se especifican muchas de las publicaciones científicas relacionadas con el proyecto para ir directamente al final, a la sección de “Visualizaciones”. Allí encontrará cargadas diferentes imágenes y películas que podrán brindar una mejor idea de lo que el proyecto Aquarius logró construir con sus simulaciones. El segundo de los sitios web describe lo propio pero para la simulación cosmológica Millennium, anterior al proyecto Aquarius. Aunque toda la página tiene información que puede

ser de sumo interés para el curioso, sugiero no perder de vista el enlace "Material Visual", donde podrá encontrar películas e imágenes de la simulación.

Proyecto Aquarius. En URL: <http://www.mpa.mpa-garching.mpg.de/aquarius/>
Millennium Run. En URL: <http://www.mpa.mpa-garching.mpg.de/millennium/>

El interesado en una lectura más técnica del tema, puede consultar el enlace al trabajo científico en el que se basa el presente artículo de divulgación en URL: arxiv.org/abs/1508.00579

Nota de los Editores

En el contexto del Programa de Extensión Compartiendo Saberes, de la Sede Andina de la Universidad Nacional de Río Negro, se realizaron en el mes de julio varias charlas relacionadas con la formación de nuestra galaxia. En este marco se presentó la conferencia "Arqueología galáctica: sobre el impacto del caos en la vecindad solar. Un primer paso" a cargo del Dr. Nicolás Maffione de la Universidad Nacional de La Plata y del Instituto de Astrofísica La Plata. Como resultado de esta visita a nuestra ciudad, *Desde la Patagonia* invitó al Dr. Maffione a escribir un artículo sobre este apasionante tema de investigación para poner a disposición de sus lectores.



***Ciencia, Tecnología e Innovación al servicio de todos,
desde la Patagonia Argentina***



INIBIOMA



Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente

Convenios de Asistencia Técnica Institucional - Convenios de I+D+i - Estudios de Impacto Ambiental
Parques y Polos Tecnológicos - Servicios Tecnológicos de Alto Nivel - Investigadores y Becarios en Empresas

Quintral 1250 - San Carlos de Bariloche - Río Negro - Argentina - Tel. 02944 433040
www.comahue-conicet.gob.ar

